



UNIVERSITY  
OF TAMPERE

This document has been downloaded from  
Tampub – The Institutional Repository of University of Tampere

The permanent address of the publication is <http://urn.fi/URN:NBN:fi:uta-201210241065>

Author(s):	Jokela, Kari; Auvinen, Anssi; Hämäläinen, Heikki
Title:	Matkapuhelimet säteilevät - vaarantuuko terveys?
Year:	2011
Journal Title:	Duodecim
Vol and number:	127 : 17
Pages:	1788-1796
ISSN:	0012-7183
Discipline:	Health care science
School /Other Unit:	School of Health Sciences
Item Type:	Journal Article
Language:	fi
URN:	URN:NBN:fi:uta-201210241065
URL:	<a href="http://www.terveysportti.fi/xmedia/duo/duo99752.pdf">http://www.terveysportti.fi/xmedia/duo/duo99752.pdf</a>

All material supplied via TamPub is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all part of any of the repository collections is not permitted, except that material may be duplicated by you for your research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered, whether for sale or otherwise to anyone who is not an authorized user.

# Matkapuhelimet säteilevät – vaarantuuko terveys?

Matkapuhelimet säteilevät sähkömagneettista energiaa, josta osa absorboituu puhelimen lähellä oleviin kudoksiin lämmittäen niitä suurimmillaan noin 0,3 °C. Vähäinen lämpeneminen voi aiheuttaa muutoksia geenien ja proteiinien ilmentymiseen, mutta tämä vastaa fysiologista reaktiota muihin ympäristön ärsykkeisiin. Soluja molekyylitasoon biofysikaalisissa tutkimuksissa ei ole löytynyt sellaisia vaikutusmekanismeja, joiden perusteella matkapuhelimien säteily voisi epäillä olevan kudoksille toksista lämpövaikutustason alapuolella. Yksittäisiä tutkimustuloksia biologisista vaikutuksista in vitro ja in vivo julkaistaan jatkuvasti, mutta niiden terveyshaitoista ei ole saatu johdonmukaista näyttöä. Säteily ei lisää kasvaimia koe-eläimillä, eikä sen genotoksisuudesta ole vakuuttavaa näyttöä. Epidemiologisten ja psykofysiologisten aivotutkimusten mukaan matkapuhelimien käyttö ei näytä lisäävän pään alueen kasvaimia tai häiritsevän keskushermoston toimintaa. Lisää tutkimustietoa kuitenkin tarvitaan säteilyn pitkäaikaisvaikutuksista erityisesti lapsiin.

**Matkapuhelimet** säteilevät radiotaajuisia sähkömagneettisia aaltoja 900–2 000 MHz:n mikroaaltotaajuuksilla eli 15–33 cm:n aallonpituuksilla. Kun matkapuhelimet alkoivat levitä laajamittaiseen käyttöön 1980- ja 1990-luvun vaihteessa, havaittiin pian, että niiden säteily voi joissakin tapauksissa ylittää väestöä koskevat altistumisen raja-arvot (Jokela ym. 1997). Puhelimien säteilyteho on pieni, alle 0,25 W, mutta aivan laitteen lähellä olevien kudosten altistuminen ei ole täysin merkityksetöntä.

Nykyisin Suomessa lähes kaikki käyttävät matkapuhelimia, joista on tullut ylivoimaisesti merkittävin väestöä altistava radiotaajuisen säteilyn lähde. Myös käyttömäärät eli puheluiden määrä ja kesto ovat jatkuvasti kasvaneet (KUVA 1). Matkapuhelimien aiheuttama altistuminen ei kuitenkaan välttämättä enää lisäännä, koska uusien laitteiden keskimääräinen teho pienenee paremman tehonsäädön vuoksi.

## Radiotaajuisen säteilyn fysikaaliset vaikutukset

Koko matkapuhelin toimii antennina, jonka läheisyyteen syntyy suurella (radio)taajuudella värähtelevä sähkömagneettinen kenttä. Se aiheuttaa ihmisen kudoksiin sähkömagneettisia (SM) aaltoja, jotka vaimenevat edetessään kudoksissa. Kaikki tunnetut radiotaajuisen säteilyn biologiset vaikutukset perustuvat siihen, että värähtelevästä sähkökentästä absorboituu energiaa kudoksiin, mikä aiheuttaa lämpötilan nousuna. Muihinkin mekanismeihin perustuvia vaikutuksia on esitetty, mutta niitä ei ole kyetty vahvistamaan (Lang ja Jokela 2006, Sheppard ym. 2008).

Lämpötilan nousu määräytyy sen mukaan, kuinka paljon kudokseen absorboituu energiaa, miten se jakautuu ja kuinka tehokkaasti elimistön ja kudosten lämmönsäätelymekanismi siirtävät lämpöä pois. Sähkömagneettisen energian absorboitumista kudokseen kuvataan ominaisabsorptionopeudella SAR (Specific Absorption Rate), joka on radiotaajuuksilla lähimpänä biologisia vaikutuksia oleva altistumista kuvaava fysikaalinen suure. SAR määritellään tiettyyn kudossmassaan absorboituvana energiana aikayksikköä kohden (teho)

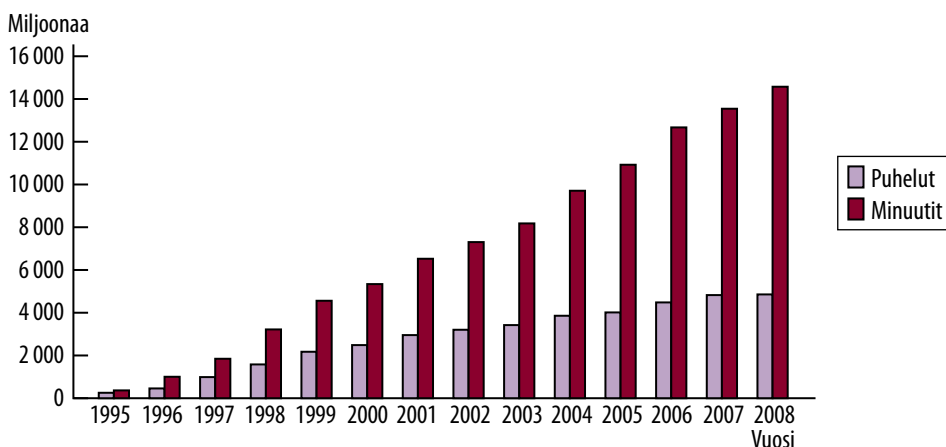


jaettuna massalla. SAR:n yksikkö on wattia kilogrammaa kohden. SAR määritellään sekä paikalliselle altistumiselle että koko keholle, mutta matkapuhelimien osalta vain paikallisella SAR:llä on merkitystä, sillä korvan juurella oleva laite altistaa merkittävästi vain lähellä olevia kudoksia. Väestön altistumiselle määritelty paikallisen SAR:n raja on 2 W/kg 10 g:n keskiarvona eli 20 mW kymmenessä grammassa. **KUVASSA 2** on esitetty miten tyypillisen matkapuhelimen säteily jakautuu päässä. Suurin osa säteilystä absorboituu iholle ja korvaan, mutta myös aivojen pintaosat voivat altistua merkittävästi. Yli 5 cm:n etäisyydellä SAR on kuitenkin alle 10 % aivojen pinnalla vallitsevasta maksimiarvosta. Standardin mukainen 10 g:n maksimiarvo päässä on kuvan tapauksessa 0,89 W/kg.

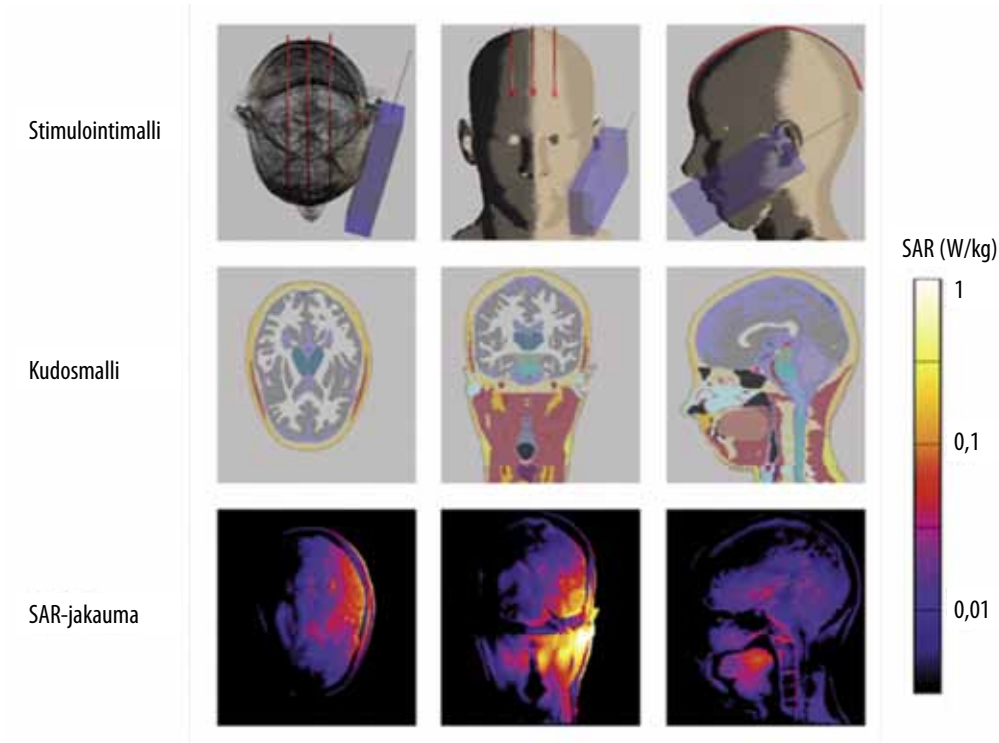
Sähkömagneettinen energia ja teho jakautuvat kudoksissa epätasaisesti. Tämä johtuu siitä, että eri kudosten sähköiset ominaisuudet vaihtelevat suuresti ja kudosten väliset rajapinnat ovat hyvin epäsäännöllisiä (**KUVA 2**). Solun mittakaavassa paikallinen enimmäis-SAR voi olla kymmeniä kertoja 10 g:n keskiarvoa suurempi. Tästä ei kuitenkaan synny todellisia kuumia pisteitä, koska lämmönjohtuminen ja verenkierron lämmönkuljetus tasaa tehokkaasti kaikki lämpötilaerot. Värähtelyenergiaa ei myöskään kerääny DNA- ja proteiinimolekyyliin, koska niitä ympäröivät vesimolekyylit jarruttavat tehokkaasti mekaanista värähtelyä.

**KUVASSA 3** on esitetty mallilaskelmin, miten matkapuhelin lämmittää pään eri osia altistustasolla 0,9 W/kg (10 g keskiarvo) (van Leeuwen ym. 1999). Lämpötila nousee muutamassa minuutissa maksimiarvoonsa. Enimmäislämpötila iholla on noin 40 % suurempi kuin aivojen pinnalla. Tämän tyyppiset laskelmat osoittavat, että suurin sallittu altistus 2 W/kg lämmittää aivokudosta korkeintaan 0,2–0,3 °C. Tällaisella lämpötilannousulla ei tiedetä olevan haitallisia vaikutuksia. Normaali fysiologinen vaihteluväli on tunnetusti  $\pm 1$  °C. Kun SAR on 20 W/kg, lämpötila nousee pari astetta, ja soluja lämpövaurioilta suojaavien proteiinien tuotanto käynnistyy. Lämpövaurion kynnyksarvo on noin 100 W/kg, jolloin matkapuhelimien pitäisi säteillä yli 50 kertaa enemmän kuin GSM-puhelimet ja yli 100 kertaa enemmän kuin UMTS-puhelimet.

On kuitenkin biologisesti mahdollista ja jopa todennäköistä, että huomattavasti alle yhden asteen muutokset lämpötilassa aiheuttavat aistittavia muutoksia. Tiedetään, että mikroaaltosäteilystä aiheutuva alle 0,1 °C lämmönnousu iholla on aistittavissa ja pulssimainen säteily aiheuttaa kuuloilmiön paljon tätä pienemmäläkin lämmönnousulla (Lang ja Jokela 2006). Kuuloilmiö aiheutuu pienen mutta äkillisen lämmönnousun aiheuttamasta mekaanisesta värähtelystä ja on eri asia kuin myöhemmin käsiteltävät kuuloherätevasteet. Kuuloilmiö voi olla häiritsevä, mutta se ei ole vaarallinen.



**KUVA 1.** Matkapuhelujen lukumäärän ja yhteenlasketun keston lisääntyminen Suomessa vuodesta 1995 vuoteen 2008 (Tilastokeskus).

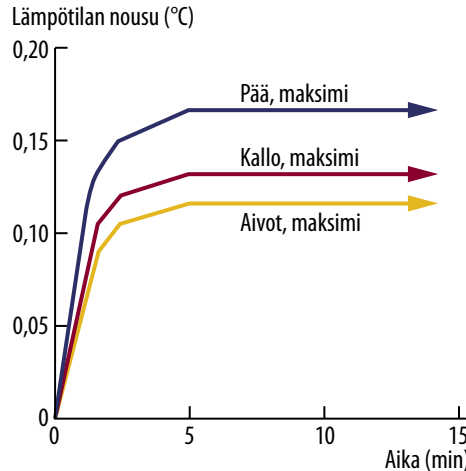


**KUVA 2.** Matkapuhelimen säteilyn laskettu jakautuminen päässä 902 MHz taajuudella. Värikoodi kuvaa säteilyn jakaumaa logaritmisesti 0,2–1 mm:n läpimitaisessa kuutiomaisessa laskentasuussa (vokselissa). Standardinmukainen SAR-arvo (10 g kuutiomaisen kudoksen keskiarvo), on päässä suurimmillaan 0,89 W/kg ja aivojen pinnalla karkeasti neljäsosa tästä. Yhden vokselin SAR voi iholla olla monikymmentertainen tähän verrattuna. Aivot ovat sähköisesti

homogeenisempia, ja siellä vokselin SAR on tyypillisesti nelinkertainen 10 g:n SAR-arvoon verrattuna. Huomattakoon, että väriasteikko on valittu niin, että SAR:n jakauma näkyy laajalla alueella eivätkä huippuarvot ihon läheisyydessä enää erotu väriasteikosta. Simulointimallissa päälle näkyvät samansuuntaiset viivat kuvaavat EEG-elektrodien johtoja sisäkorvan ja kuuloradan aivorunkoherätevästeitä koskevassa tutkimuksessa (mukailtu artikkelista Kwon ym. 2010).

### Solututkimukset ja eläinkokeet

Matkapuhelinsäteilyn solututkimuksilla on viime vuosina pyritty erityisesti selvittämään, aiheuttaako säteily soluviljelmissä ja koe-eläimissä DNA-vaurioita tai haitallisia muutoksia geenien ja proteiinien ilmentymisessä. Näitä muutoksia voisivat olla sellaiset, jotka edistävät epigeneettisten mekanismien kautta syövän kehittymistä vaikuttamalla solujen jakautumiseen, erilaistumiseen, apoptoosiin tai transformaatioon (Juutilainen ym. 2006, Juutilainen ym. 2009, McNamee ja Chauhan 2009). Uudet tehoseulontamenetelmät (High-Throughput Screening Techniques) ovat tarjonneet herkän työkalun tutkia säteilyn vaikutuksia geenien toimintaan RNA- ja pro-



**KUVA 3.** Matkapuhelimen aiheuttama laskettu lämpötilan nousu päässä altistumistasolla 0,9 W/kg (maksimi-SAR 10 gramman keskiarvona).

teiinitasolla (Leszczynski ym. 2004, Nylund ja Leszczynski 2006).

Joissakin solutason tutkimuksissa on saatu joitain viitteitä genotoksisista vaikutuksista ja geenitoiminnan muutoksista, mutta useimpien tutkimusten tulokset ovat olleet negatiivisia. Kokonaisuutena tarkastellen näyttää siltä, että radiotaajuinen säteily ei ole genotoksisista (Vijaylaxmi ja Prihoda 2008). Myöskään geenien ja proteiinien ilmentymisessä ei ole havaittu sellaisia muutoksia, jotka viittaisivat esimerkiksi syöpägeenien aktivoitumiseen. Solututkimusten ongelmana on se, että soluja joudutaan altistamaan matkapuhelimen aiheuttamalla SAR-tasolla, jolloin solujen lämpeneminen voi peittää mahdolliset pienet vaikutukset, jotka eivät johdu lämmöstä. Lisäksi SAR jakautuu epätasaisesti soluviilijelmässä, jolloin solujen saama altistus ei ole vakioitu. Tutkittavat biologiset muutokset ovat pieniä ja tilastollinen vaihtelu huomattavaa. Biologisten ja fysikaalisten koeolosuhteiden vakiointi on vaikeaa. Näiden seikkojen takia positiivisia havaintoja on ollut hyvin vaikea toistaa.

Matkapuhelimien säteilyn karsinogeenisuudesta on paljon tutkimustietoa jyrksijöillä tehdyistä eläinkokeista. Pitkäaikaisenaan altistumisen ei ole todettu lisäävän syöpiä säteilytasolla, joka on alle 4 W/kg. Syövän lisääntymistä koskevia havaintoja ei ole pystytty vahvistamaan (Heikkinen ym. 2006, Juutilainen ym. 2009).

## Vaikutukset aivojen toimintaan

Matkapuhelinten yleistymisen myötä on tehty huomattava määrä tutkimuksia matkapuhelimen synnyttämän SM-kentän vaikutuksista ihmisaivojen toimintaan. Tätä on tutkittu mittaamalla kentän vaikutusta kognitiivisiin toimintoihin (mm. havaintotoimintaan, työmuistiin ja reaktionopeuteen), nukkumiseen ja unen rakenteeseen, aivojen sähköiseen toimintaan valvetilassa ja unessa sekä aivojen verenkiertoon kognitiivisten suoritusten aikana. Esittelemämme tulokset perustuvat tuoreeseen katsaukseen, jossa on koottu yhteen kaikki alan tutkimukset muutaman viime vuosikymmenen ajalta ja arvioitu kriittisesti

## YDINASIAAT

- » Matkapuhelimien aiheuttaman kudosten lievän lämpenemisen haitallisuudesta ei ole todisteita, mutta tilapäiset muutokset geenien ja proteiinien ilmentymisessä ovat mahdollisia.
- » Matkapuhelimien säteilylle pitkäaikaisesti altistetuilla koe-eläimillä ei ole havaittu syöpien lisääntymistä eikä solututkimuksissa genotoksista vaikutuksia.
- » Epidemiologisissa tutkimuksissa alle viiden vuoden matkapuhelimien käyttö ei ole suurentanut aivokasvainten tai muiden pään alueen kasvainten riskiä.
- » Matkapuhelimien käytön ei ole todettu vaikuttavan aivot toimintaan kognitiivisten toimintojen tai aivojen sähköisen toiminnan mittareilla arvioituna.
- » Lasten osalta pitkäaikaisvaikutukset ovat edelleen tuntemattomat.
- » Matkapuhelimien säteilylle altistetuilla koehenkilöillä ei ilmene subjektiivisia huonovointisuuden tuntemuksia enempää kuin lumealtistuksessa.

ristiriitaisiin tutkimustuloksiin johtaneita metodisia heikkouksia erällä tutkimuksen alueilla (Kwon ja Hämäläinen 2011).

GSM- ja viime aikoina myös UMTS-puhelinsäteilyn kentän vaikutuksesta ihmisen kognitiivisiin toimintoihin on tehty 30 tutkimusta. Yleinen päätelmä on, ettei vaikutuksia ole voitu osoittaa. Ilmiöt ovat joko liian heikkoja mitattaviksi olemassa olevilla kognitiivisilla mittareilla tai niitä ei yksinkertaisesti ole. Tutkimuskirjallisuudessa on toki joukko positiivisia löydöksiä, joista erään keskeisimmistä on tehnyt turkulainen tutkimusryhmä (Koivisto ym. 2000), mutta niitä ei ole kyetty toistamaan. Ne ovat olleet vääriä positiivisia tuloksia esimerkiksi tulosanalyysien liian löyhien tilastotieteellisten kriteerien vuoksi. Aivojen sähköisen toiminnan osalta on tarkastelun kohteena ollut joko perus-EEG:n taajuuskaistat tai EEG:stä keskiarvoistetut

niin sanotut tapahtumasidonnaiset herätevasteet. Herätevasteiden kohdalla lopputulos yli kymmenen tieteellisen raportin jälkeen on sama kuin kognitiivisissa tutkimuksissakin – ei toistettavia vaikutuksia. Sama koskee myös todettuja varhaisia kuuloherätevasteita, jotka heijastavat kuuloratojen toimintaa. Muitakaan toiminnallisia muutoksia sisäkorvassa ei ole voitu osoittaa. EEG:ssä on kuitenkin havaittu useissa tutkimuksissa EEG:n alfakaistan voimakkuuden muunnos. Tämä johtuu ilmeisesti GSM-kentässä olevasta taajuusmodulaatiosta, joka häiritsee EEG-signaalia, eli tulkintamme mukaan kyseessä ei ole biologinen ilmiö. UMTS-kentässä, jossa ei ole GSM-tyyppistä taajuusmodulaatiota, ei ole myöskään ainaakaan toistaiseksi julkaistuissa tutkimuksissa osoitettu vastaavaa EEG-muutosta.

Positroniemissiotomografialla (PET) voidaan mitata aivokudoksen verenvirtausta ja aineenvaihduntaa hapen tai glukoosin radioaktiivisesti merkittyjä kertymiä tarkkailemalla. Menetelmä on vaativa ja kallis verrattuna esimerkiksi EEG-mittauksiin, ja tämän vuoksi SM-kenttätutkimuksia on toistaiseksi vain vähän. Ilmeisesti myös menetelmän suhteellisen kalleuden takia koehenkilö- ja mittausmäärät ja siten tilastollinen voima tutkimuksissa on jäänyt pieneksi, joten saadut tulokset ovat ristiriitaisia. Lisäksi joissakin varhaisimmissa tutkimuksissa ei ollut tehty mittauksia altistuksen aikana vaan sen jälkeen. Joissakin tutkimuksissa on havaittu verenkiertomuutoksia aivojen temporaalialueilla lähellä säteilymaksimia ja myös frontaalialueilla esiintyviä muutoksia. Mittaukset on tehty koehenkilöiden suorittaessa jotain kognitiivisesti kuormittavaa tehtävää. Lopputulemana voidaan todeta, että tulokset ovat ristiriitaisia ja vaativat toistoa vahvemmillä tutkimusasetelmilla.

Joitakin vuosia sitten havaittiin muutamissa tutkimuksissa SM-kenttien vaikuttavan unen rakenteeseen ja unenaikaisen EEG:n ominaisuuksiin. Näistä löydöksistä puhuttiin tieteellisissä kokouksissa jo lähes faktoina, mutta tutkimuksia ei koskaan toistettu kunnolla. Yhdessä toistokokeessa todettiin sama GSM-kentän aiheuttama muutos alfakaistassa kuin

laatiosignaali. Pariissa viimeaikaisessa laajassa ja hyvin kontrolloidussa tutkimuksessa havaittiin sekä unirakenteen muuttumattomuutta (Danker-Hopfe ym. 2011) että hidasaaltouden vähäistä lyhenemistä (Lowden ym. 2010) kenttäaltistuksen yhteydessä. Ristiriitaisuus siis jatkuu.

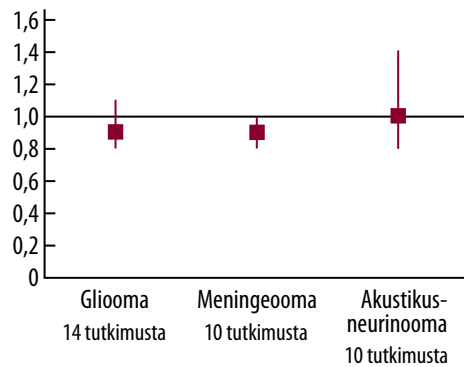
Useissa maissa tehdyissä väestöön kohdistetuissa kyselytutkimuksissa on kaikissa todettu, että osa väestöstä ilmoittaa SM-kenttien (matkapuhelimen käyttö, tukiaseman läheisyys) aiheuttavan heille subjektiivisia oireita, jotka vaihtelevat henkilöittäin lievästi epämiellyttävistä (iho-oireet, päänsärky) hyvin voimakkaisiin ja jopa toimintakykyä lamauttaviin. Täytyy toki huomioda, että tällaisiin kyselyihin vastaavat herkimmin henkilöt, joilla on mielestään SM-kenttiin liittyvää oireilua. Tähän mennessä on julkaistu lähes parikymmentä tutkimusta, joissa on selvitetty hyvin kontrolloiduissa laboratorio-olosuhteissa näiden sähköliherkiksi itsensä kokevien henkilöiden oirehtimista ja kykyä arvioida SM-kentälle altistumista. Yhdessäkään tutkimuksessa ei ole kyetty osoittamaan SM-kenttien yhteyttä oireisiin, kentän havaitsemiseen tai fysiologisiin reaktioihin. Itse asiassa oireilu ja tuntemukset tulevat selkeimmin esille silloin, kun yliherkyydestä kärsiville koehenkilöille kerrotaan kentän olevan olemassa riippumatta siitä, onko kenttä olemassa vai ei. Ilmiöstä on viime vuosina julkaistu muutama kattava katsaus (Rubin ym. 2010), ja se on myös nimetty placebo- eli lumevaikutuksen mukaisesti nocebo-ilmiöksi (noxious placebo). Sillä viitataan tilanteeseen, jossa henkilö olettaessaan olevansa oireita aiheuttavan kentän piirissä alkaa automaattisesti oirehtia. Ilmiö eli oireilu on joka tapauksessa todellista aiheuttaen psykofysiologista pahoinvointia ja vaatii sellaisenaan tutkimusta. Muutama aivokuvantamistutkimus onkin jo raportoinut sekä lume- että nocebo-ilmiötä.

Matkapuhelinten SM-kenttien mahdollisista vaikutuksista on huomattava määrä ristiriitaista tutkimustietoa, mikä johtuu useimmiten tilastoanalyttisten sääntöjen rikkomisesta. Tämä näkyy erityisesti raporteissa, jotka koskevat kognitiivisia ja aivotoiminnallisia vaikutuksia. Niissä on harrastettu vallattomasti liian

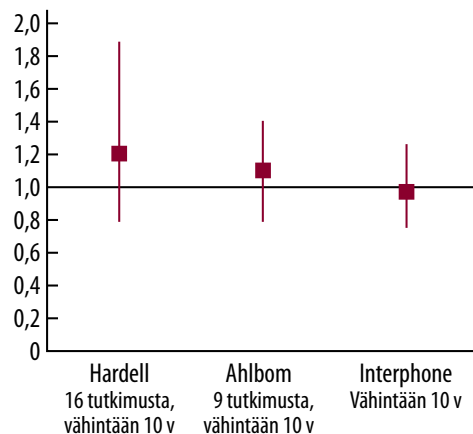
liberaaleja todennäköisyyssrajoja, korjaamattomia monivertailuanalyysseja, perusteettomia post hoc -analyysseja ja jopa aineistojen uudelleenryhmittelyjä vaikutusten esiin saamiseksi. Tähän liialliseen ”kalastukseen” on jo puututtu viimeaikaisissa kriittisissä katsauksissa. Tutkimuksella on kuitenkin huomattavat haasteet edessään, mikäli halutaan vastata kysymyksiin pidempiaikaisen altistuksen vaikutuksista ja altistuksen vaikutuksista lapsiin. Mitä sovellettaviin mittareihin tulee, kognitiiviset ja EEG-pohjaiset tutkimusmenetelmät eivät mitä ilmeisimmin tule tarjoamaan mitään uutta. Sen sijaan tulisi hyödyntää uusia toiminnallisen aivokuvantamisen menetelmiä.

## Epidemiologia

Matkapuhelimien käytön yhteydestä pään alueen kasvaimiin on tehty useita tutkimuksia. Näiden tuloksia yhdistävissä meta-analyyseissä matkapuhelimen käyttäjillä (KUVAT 4 ja 5) ei ole havaittu muita suurempaa vaaraa sairastua glioomaan, meningeoomaan, kuulohermon neurinoomaan tai sylkirauhasen kasvaimiin (Ahlbom ym. 2009). Tältä osin näyttö on varsin vahva ja yhdenmukainen. Pitkäaikaisen käytön osalta tulokset ovat myös pääosin negatiivisia (KUVA 5). Selkeästi suurentuneita riskejä on todettu lähinnä ruotsalaisen Lennart Hardellin tutkimuksissa, mutta muiden tutkimusten tulokset ovat olleet varsin selkeästi negatiivisia. Useissa tutkimuksissa on saatu suurentuneita riskisuhteita sillä puolen päätä sijaitsevien kasvainten osalta, jolla koehenkilöt ovat kertoneet yleensä pitävänsä matkapuhelinta. Joissain tutkimuksissa yli kymmenen vuoden pitkäaikaiseen käyttöön on liittynyt suurentunut gliooman riski, mutta eri tutkimusten tuloksia yhdistävissä meta-analyyseissä tätä ei ole voitu vahvistaa (KUVA 5). Pitkäaikaiseen käyttöön liittyvää lievästi suurentunutta riskiä ei voida sulkea pois myöskään kuulohermon kasvainten ja meningeooman osalta, koska näitä koskevissa uusimmissa meta-analyyseissä yhdistetty tulos on OR 1,2–1,4 ja luottamusvälin yläraja yli kahden (Ahlbom ym. 2009). Näiden löydösten tulkinta on kuitenkin ongelmallista, sillä tulokset saattavat



**KUVA 4.** Matkapuhelimen säännöllinen käyttö ja pään alueen kasvainriski: meta-analyysin tulokset (Ahlbom 2009).



**KUVA 5.** Matkapuhelimen pitkäaikainen käyttö ja glioomariski: kahden meta-analyysin ja laajan Interphone-tutkimuksen tulokset (Hardell ym. 2008, Ahlbom ym. 2009, Interphone Study Group 2010).

johtua myös muistiharhasta: se että potilas tietää kummalla puolella kasvain on todettu, voi vaikuttaa ilmoitettuun käyttöpuoleen. Sama ilmiö voi vääristää myös käytön määrää koskevia tuloksia. Tätä virhelähdettä on vaikea välttää tapaus-verrokkitutkimuksissa, joissa tiedot puhelimen käytöstä kerätään jälkikäteen. Objektiivista tietolähdettä käyttäneistä tutkimuksista suurin on tanskalainen kohorttitutkimus, jossa ei havaittu suurentunutta syöpävaaraa (Schüz ym. 2006). Tämän tutkimuksen heikkoutena on se, että matkapuhelimen käyttöä on arvioitu vain matkapuhelinliitty-



män omistuksen perusteella. Operaattoreilta ei ole myöskään saatu tietoa käytön määrästä eikä tietenkään siitä, kummalla puolella päätä puhelinta on pidetty.

Viime vuonna julkaistun suuren kansainvälisen Interphone-tutkimuksen tulokset eivät ole vielä ehtineet mukaan meta-analyysihin (Interphone Study Group 2010). Osin Suomessa tehdyn tutkimuksen tulokset ja olivat kuitenkin samansuuntaisia (Lahkola 2010) ja myös epävarmuuden lähteet vastaavia kuin aiemmissa tutkimuksissa. Se ei siis oleellisesti muuta näytön tulkintaa. Suuri enemmistö väestöstä käyttää matkapuhelinta, joten asialla on suuri kansanterveydellinen merkitys. Koska miltei kaikki ovat altistuneet, pitäisi mahdollisen vaikutuksen ilmetä myös väestötason tarkastelussa riittävän viiveen (latenssiajan) jälkeen. Tähänastiset tutkimukset eivät kuitenkaan ole kattaneet juurikaan kymmentä vuotta pidemmän altistuksen vaikutuksia. Toistaiseksi aivokasvainten ilmaantuvuustrendeissä ei ole havaittu viitteitä esiintyvyyden suurenemisesta. Tämä tukee epidemiologisten tutkimusten tuloksia siinä, ettei ainakaan alle kymmenen vuoden käyttöön liity suurentunut kasvainriskiä (Deltour ym. 2009, Inskip ym. 2010). Tuore eurooppalainen tutkimus ei antanut viitteitä lasten aivokasvainten riskin yhteydestä matkapuhelimen käyttöön (Aydin ym. 2011).

Tarkempaa tietoa odotetaan Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa ja Britanniassa käynnistyneestä matkapuhelimen käyttäjien kohorttitutkimuksesta, jossa vältetään useat aiempien tutkimusten heikkoudet (Auvinen 2010). Sen ensimmäisiä tuloksia joudutaan kuitenkin odottamaan vähintään vuoteen 2015.

Muista kasvaintyypeistä ei ole tehty yhtä paljon tutkimuksia kuin pään alueen kasvaimista, mutta muun muassa lymfooman ja kivessyövän osalta tulokset ovat olleet selvästi negatiivisia. Tanskalaisessa kohorttitutkimuksessa havaittiin matkapuhelimen käyttäjillä muuta väestöä enemmän sairaalakäyntejä migreenin ja huimauksen takia, mutta vastavasti vähemmän dementian ja Parkinsonin taudin vuoksi (Schüz ym. 2009). Nämä tulokset luultavasti heijastavat enemmän eroja

sosioekonomisissa tekijöissä kuin varsinaista puhelimen käytön vaikutusta. Toisen tanskalaisen kohorttitutkimuksen tulokset viittasivat hiljattain siihen, että paljon matkapuhelinta raskauden aikana käyttäneiden äitien lapsilla olisi mahdollisesti muita enemmän käyttäytymishäiriöitä, lähinnä keskittymiskyvyn ongelmia (Divan ym. 2009). Äidin matkapuhelimen käyttö ei kuitenkaan käytännössä aiheuta altistusta kohdun alueelle, joten löydöksiin kannattaa suhtautua varovaisesti.

## Lopuksi

Sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvan langattoman viestinnän juurtuminen jokapäiväiseen käyttöön on ollut keskeinen osa maailmanlaajuista globaalien tietoverkkojen muodostumista, joka on jo nyt muuttanut elintapojamme. Se muovaa kulttuuriamme. Ei ole ihme, että tämän muutoksen keskellä on kansalaisten piirissä herännyt huoli säteilyriskeistä (Litmanen ym. 2006). Tosin Eurobarometer-selvityksen mukaan suomalaisista vain 8 % piti matkapuhelimia terveysriskinä, kun EU:n keskiarvo oli 26 % (Eurobarometer 272a).

Kahdenkymmenen vuoden aikana on kertynyt paljon tutkimustietoa, joka on pääosin rauhoittavaa. WHO:n syöväntutkimuskeskus luokitteli hiljattain radiotaajuiset SM-kentät mahdollisesti syöpää aiheuttaviksi (luokka 2b). Arvio perustui erityisesti matkapuhelimien käyttäjien gliooman ja kuulohermon neurinooman vaaraa koskeviin epidemiologisiin tutkimuksiin (Baan ym. 2011). Muiden kasvaimien osalta epidemiologisten tutkimusten löydöksiä kuvattiin riittämättömäksi ja eläinkokeiden näyttöä pidettiin niukkana. Vakuuttavia todisteita säteilyn karsinogeenisuudesta ei ole saatu, eikä säteily myöskään näytä vaikuttavan haitallisesti aivojen toimintaan silloin kun väestöä koskeva altistumisraja 2 W/kg ei ylity. Se takaa sen, että kudokset eivät lämpene liiaksi, mikä on edelleenkin ainoa tunnettu biofysikaalinen vaikutusmekanismi, jolla matkapuhelimien säteilyn tiedetään vaikuttavan soluihin. Vaikka yksittäisiä tutkimustuloksia matkapuhelinsäteilyn aiheuttamista soluvaikutuksista in vivo ja in vitro jatkuvasti



julkaistaankin, niiden haitallisuudesta ei ole vankkaan tutkimukseen perustuvaa näyttöä. Toisaalta matkapuhelimien säteilyllä on suuri kansanterveydellinen merkitys, koska melkein kaikki käyttävät näitä laitteita ja mahdolliset säteilyhaitat voivat tulla esiin kymmenien vuosien altistumisen jälkeen. Tämän vuoksi on syytä rajoittaa lasten altistumista matkapuhelimien säteilylle ja jatkaa säteilyn terveydellisten ja biologisten vaikutusten tutkimusta. Sillä

varmistetaan, että voimassa olevat altistumisrajat ovat edelleenkin turvallisia eikä ikäviä yllätyksiä tule vastaan. Kun uusia elinympäristöön voimakkaasti vaikuttavia teknologioita otetaan käyttöön, olisi niiden vaikutuksista niin terveyteen kuin kansalaisten riskikäsityksiin syytä olla parempi näkemys kuin silloin, kun ensimmäisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmät otettiin käyttöön 1980-luvun alussa. ■

**KARI JOKELA, TKT, tutkimusprofessori**  
Säteilyturvakeskus, ionisoimaton säteily

**ANSSI AUVINEN, LT, professori**  
Tampereen yliopisto, terveystieteiden yksikkö ja  
Säteilyturvakeskus, tutkimus ja ympäristövalvonta

**HEIKKI HÄMÄLÄINEN, FT, professori**  
Turun yliopisto, käyttäytymistieteiden ja filosofian laitos, kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus

#### **SIDONNAISUUDET**

**Kari Jokela:** Apuraha (osallistunut TEKESin WIRECOM-tutkimusohjelmaan, jonka kustannuksiin on osallistunut myös matkapuhelinvalmistaja ja verkko-operaattoreita)

**Anssi Auvinen:** Apuraha (TEKES Wirecom, COSMOS-tutkimus ja EU FP7 Interphone -tutkimus)

**Heikki Hämäläinen:** Apuraha (osallistunut TEKESin WIRECOM-tutkimusohjelman aivokuvantamisosaan).

## **Summary**

### **Mobile phones radiate – risk to the health?**

The mobile phones radiate electromagnetic energy which is partly absorbed into the tissues in the vicinity of the phone. The minor heating, in maximum up to 0.3 °C, may cause some alterations in the expression of genes and proteins similar to physiological response to other stimuli. Biophysical studies at the cellular and molecular level have not revealed any well established interaction mechanism, through which mobile phone radiation could induce toxic effects below the thermal effect level. Research results on various biological effects *in vitro* and *in vivo* are continuously published but there is no consistent evidence on well established harmful effects. The mobile phone radiation is not carcinogenic for experimental animals or genotoxic for cells. According to epidemiological studies and psychophysiological brain function studies the use of mobile phones does not seem to increase the risk of tumors in the head and brain or disturb the function of central nervous system. However, there is a need for more research on the long-term effects of mobile phone radiation particularly on children.

## KIRJALLISUUTTA

- Ahlbom A, Feychting M, Green A, Kheifets L, Savitz DA, Swerdlow AJ. Epidemiologic evidence on mobile phones and tumor risk: A review. *Epidemiology* 2009;20:639–52.
- Auvinen A. Mitä matkapuhelimien vaikutuksesta tiedetään väestötasolla? *Duodecim* 2010;126:2342–43.
- Aydin D, Feychting M, Schüz J, ym. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. *Natl Cancer Inst* 2011; 103:1264–76.
- Baan R, Grosse Y, Lauby-Secretan B, ym. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *Lancet Oncol* 2011;12: 624–6.
- Danker-Hopfe H, Dorn H, Bahr A, Anderer P, Sauter C. Effects of electromagnetic fields emitted by mobile phones (GSM 900 and WCDMA/UMTS) on the macrostructure of sleep. *J Sleep Res* 2011;20:73–81.
- Deltour I, Johansen C, Auvinen A, Feychting M, Klaeboe L, Schüz J. Time trends in brain tumor incidence rates in Denmark, Finland, Norway and Sweden 1974–2003. *J Natl Cancer Inst* 2009;101: 1721–24.
- Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J. Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. *Epidemiology* 2008;19:523–9.
- Eurobarometer 272a. Electromagnetic fields. European Commission, Brussels 2007. Luettavissa: [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/ebs/ebs\\_272a\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_272a_en.pdf)
- Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Hansson Mild K. Meta-analysis of long-term mobile phone use and the association with brain tumors. *Int J Oncol* 2008;32: 1097–103.
- Heikkinen P, Ernst H, Huuskonen H, ym. No effects of radiofrequency radiation on 2(5H)-furanone-induced tumorigenesis in female wistar rats. *Radiat Res* 2006;166: 397–408.
- Inskip PD, Hoover RN, Devesa SS. Brain cancer incidence trends in relation to cellular telephone use in the United States. *Neuro Oncol* 2010;12:1147–51.
- Interphone Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol* 2010;39:675–94.
- Jokela K, Leszczynski D, Paile W, Salomaa S, Puranen L, Hyysalo P. Matkapuhelimien ja tukiasemien säteilyturvallisuus. STUK-A141, Säteilyturvakeskus 1997.
- Juutilainen J, Lagroye I, Miyakoshi J, ym. Review of experimental studies of RF biological effects (100 kHz–300 GHz). Kirjassa: Vecchia P, Matthes R, Ziegelberger G, Lin C, Saunders RD, Swerdlow A. Exposure to High Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects, and Health Consequences. ICNIRP 16/2009, s. 91–303.
- Juutilainen J, Leszczynski D, Nylund R, ym. Radiotaajuisten kenttien ja säteilyn vaikutukset. Kirjassa: Nyberg H, Jokela K, toim. Ionisoimaton säteily. Sähkömagneettiset kentät. Helsinki: Säteilyturvakeskus 2006, s. 262–317.
- Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, ym. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 2000;11: 413–5.
- Kwon MS, Hämäläinen H. Effects of mobile phone electromagnetic fields: Critical evaluation of behavioral and neurophysiological studies. *Bioelectromagnetics* 2011; 32:253–72.
- Kwon MS, Jääskeläinen KS, Toivo T, Hämäläinen H. No effects of mobile phone electromagnetic field on auditory brainstem response. *Bioelectromagnetics* 2010; 31:48–55.
- Lahkola A. Mobile phone use and risk of brain tumors. STUK-A246, Säteilyturvakeskus 2010.
- Lang S, Jokela K. Biofysikaaliset vaikutukset. Kirjassa: Nyberg H, Jokela K, toim. Ionisoimaton säteily. Sähkömagneettiset kentät. Helsinki: Säteilyturvakeskus 2006, s. 117–83.
- van Leeuwen GMJ, Legendijk JJ, van Leersum BJ, Zwamborn AP, Hornsleth SN, Kotte AN. Calculation of change in brain temperature due to exposure to a mobile phone. *Phys Med Biol* 1999;44:2367–79.
- Leszczynski D, Nylund R, Joenväärä S, Reivinen J. Applicability of discovery science approach to determine biological effects of mobile phone radiation. *Proteomics* 2004;4:426–31.
- Litmanen T, Kuustonen J, Jokela K. Sähkömagneettiset kentät terveysriskinä. Ionisoimaton säteily. Sähkömagneettiset kentät. Helsinki: Säteilyturvakeskus 2006, s. 502–26.
- Lowden A, Åkerstedt T, Ingre M, ym. Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone related symptoms. *Bioelectromagnetics* 2010;32:4–14.
- McNamee JP, Chauhan V. Radiofrequency radiation and gene/protein expression. *Radiat Res* 2009;172:265–87.
- Nylund R, Leszczynski D. Mobile phone radiation causes changes in gene and protein expression in human endothelial cell lines and the response seems to be genome- and proteome dependent. *Proteomics* 2006;6:4769–80.
- Repacholi M, Lerchl A, Rössli M, ym. Systematic review of wireless phone use and brain cancer and other head tumors. *Bioelectromagnetics* 2011, painossa.
- Rubin GJ, Nieto-Hernandez R, Wessely S. Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly "electromagnetic hypersensitivity"): An updated systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics* 2010;31:1–11.
- Schüz J, Jacobsen R, Olsen JH, Boice JD, McLaughlin JK, Johansen C. Cellular telephone use and cancer risk: Update of a nationwide Danish cohort. *J Natl Cancer Inst* 2006;98:1707–13.
- Schüz J, Waldemar G, Olsen JH, Johansen C. Risks for central nervous system diseases among mobile phone subscribers: a Danish retrospective cohort study. *PLoS One* 2009;4:e4389.
- Sheppard AR, Swicord ML, Balzano Q. Quantitative evaluations of mechanisms of radiofrequency interactions with biological molecules and processes. *Heath Phys* 2008;95:365–96.
- Vijayalaxmi, Prihoda TJ. Genetic damage in mammalian somatic cells exposed to radiofrequency radiation: a meta-analysis of data from 63 publications (1990–2005). *Radiat Res* 2008 169:561–74.